

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 40 14 561 A 1

⑤1 Int. Cl. 5:
B 60 G 17/015
B 60 T 8/32
B 62 D 6/00

②1 Aktenzeichen: P 40 14 561.1
②2 Anmeldetag: 7. 5. 90
④3 Offenlegungstag: 7. 11. 91

DE 40 14 561 A 1

③0 Innere Priorität: ③2 ③3 ③1

04.05.90 DE 40 14 339.2

⑦1 Anmelder:

Alfred Teves GmbH, 6000 Frankfurt, DE

⑦2 Erfinder:

Klein, Hans-C., 6234 Hattersheim, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 30 15 955 C2
DE 38 30 168 A1
DE 38 23 413 A1
DE 38 19 837 A1
DE 37 20 392 A1
DE 36 03 346 A1
DE 35 42 350 A1
DE 34 08 292 A1

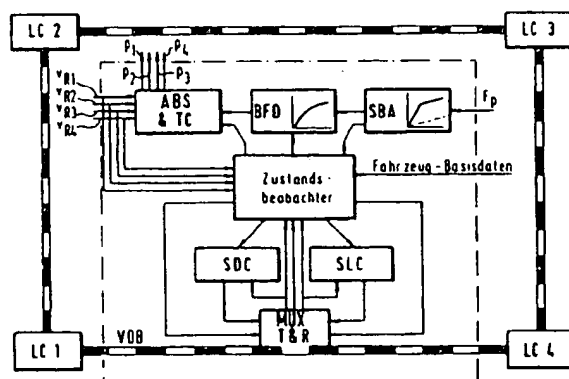
DE-Z: KLEIN, Hans-Christof;

Pkw-ABV-Bremssysteme mit weiteren integrierten
Funktionen. In: Auto- mobil-Industrie, 5/89,
S.659-673;

⑤4 Regelsystem für Kraftfahrzeuge

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Regelsystem für Kraftfahrzeuge, bestehend aus Sensoren, die Zustände, Geschwindigkeiten und/oder Beschleunigungen von Fahrzeugteilen erfassen und Signale an elektronische Schaltkreise abgeben, aus den elektronischen Schaltkreisen, die Sensorsignale empfangen, verarbeiten und Steuersignale abgeben, wobei durch die Steuersignale ein Blockieren beim Bremsen verhindert wird oder Stoßdämpfer in ihrer Härte verändert werden oder eine Servolenkung geregelt wird, und aus einem Zustandsbeobachter, der Signale von den elektronischen Schaltkreisen erhält, verarbeitet und der Signale an die elektronischen Schaltkreise abgibt.

Das erfindungsgemäße Regelsystem ist besonders einfach im Aufbau und nutzt vorhandene Daten optimal aus, was einen hohen Wirkungsgrad zur Folge hat



DE 40 14 561 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Regelsystem für Kraftfahrzeuge. Es sind bereits viele verschiedene Regelsysteme für Kraftfahrzeuge bekannt, beispielsweise ABS- und/oder ASR-Einrichtungen, Fahrwerksregelungen oder Servolenkungen. Diese Systeme arbeiten in der Praxis recht zuverlässig, jedoch nicht optimal, da ein Fahrzeug sehr komplizierte Bewegungsabläufe erfährt, die nicht vollständig mathematisch beschrieben werden können und deswegen jedes Regelsystem ein Kompromiß darstellt.

Außerdem ist bekannt, für das Fahrzeugverhalten rechnerische Modelle zu verwenden und diese Modelle in die Regelsysteme einzubeziehen. Die Verwendung eines solchen Modells bei einem aktiven Fahrwerk bzw. zur Spurführung hat H. Wallentowitz in seinem Vortrag bei der VII. Iff-Tagung vorgeschlagen. Dort ist auch der "Beobachter" als ein System beschrieben, bei dem "ein Regler mit berechneten Bewegungsgrößen versorgt wird" (in: Vortragsausdrucke der VII. Iff-Tagung, Braunschweig, Mai 1989).

In der Europäischen Patentanmeldung 02 75 664 ist eine Beobachtungskontrolleinrichtung für Aufhängungssysteme beschrieben, bei der ständig die Auswirkungen von weicher und harter Dämpfereinstellung berechnet werden und dann der jeweils günstigere Zustand eingestellt wird.

Die Erfindung hat sich zur Aufgabe gestellt, ein Regelsystem für Kraftfahrzeuge zu schaffen, das einfach im Aufbau und dennoch besonders wirkungsvoll ist, wobei vorhandene Daten optimal ausgenutzt werden.

Die Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst. Vor allem durch den Datenaustausch in beiden Richtungen zwischen dem Zustandsbeobachter und den elektronischen Schaltkreisen ist einerseits eine Überwachung von beispielsweise ABS-Anlage oder Servolenkung möglich, aber andererseits auch eine Funktionsverbesserung dieser Anlagen.

Eine vorteilhafte Weiterbildung ist im Anspruch 2 angegeben. Er soll anhand eines Beispiels erläutert werden. Sofern Fahr- und Verkehrssituation es zulassen, kann der Zustandsbeobachter Signale aussenden, die eine Betätigung von Vorderrad- oder Hinterradbremse für sich allein bewirken. Auf diese Weise kann die Bremskonstante für jede Achse ermittelt werden. Werden die so gewonnenen Daten, wie im Anspruch 3 angegeben, den elektronischen Schaltkreisen zum Erzeugen von Steuersignalen zur Verfügung gestellt, so ist — im Beispiel — eine optimale Bremskraftverteilung gewährleistet.

Hierzu ist es nicht notwendig, daß der Zustandsbeobachter mit den schnellen Zeittakten der elektronischen Schaltkreise arbeitet, sondern für die Aktualisierung der Fahrzeugkonstanten genügen wesentlich längere Zeitabstände. Dies ist im 4. Anspruch wiedergegeben.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn — wie im Anspruch 5 angegeben — der Zustandsbeobachter die Teilsysteme koordiniert. Das heißt, wenn beim Bremsen die Stoßdämpfer so eingestellt werden, daß möglichst keine Rückkopplung an die Bremse erfolgt oder wenn ein Wankausgleich beim Einschlagen des Lenkrades, d. h. Kurvenfahrt, erfolgt.

Anspruch 6 erläutert die Möglichkeit, weitere Funktionen in das Regelsystem zu integrieren. Denkbar wäre etwa ein Werkstattservice, bei dem alle aufgetretenen Systemfehler gespeichert werden und später in der Werkstatt abgerufen werden können.

Eine mögliche Erweiterung des bisher beschriebenen Systems ist in den Ansprüchen 7 und 8 beschrieben. Einerseits kann auf die angegebene Weise die momentane Anregungsfrequenz ermittelt und die dazu passende optimale Stoßdämpfereinstellung gewählt werden, andererseits kann auch ein besonderes Signal abgegeben werden, wenn das Fahrzeug in ein Schlagloch fällt oder über eine Bodenwelle fährt. Dieses Signal, das nur 1 bit benötigt, kann zwischen den anderen Informationen gesendet und empfangen werden, d. h. als Unterbrechung der üblichen Routine und ermöglicht so eine extrem schnelle Reaktion, also eine kurzfristige Stoßdämpferhärtenverstellung.

Eine vorteilhafte Weiterbildung nach Anspruch 9 sieht vor, daß das Regelsystem aus der Häufigkeitsverteilung der Stoßdämpferstellungen innerhalb eines Zeitintervalls die mittlere Fahrzeughöhe über dem Boden ermittelt. Durch diese Maßnahme ist eine Niveauregelung besonders einfach mit verstellbaren Stoßdämpfern zu kombinieren. Die gleiche Wirkung ist mit den in den Ansprüchen 10 bis 12 angegebenen Maßnahmen erreichbar. In diesem Fall wird jedoch nur die — besonders leicht meßbare — Stoßdämpferbeschleunigung benötigt und daraus die Zeitfunktion bzw. deren Mittelwert der Stoßdämpferstellung berechnet. Die zur Ermittlung der Integrationskonstanten zur Verfügung stehenden Randbedingungen sind die Stoßdämpferstellungen, für die jeweils die Beschleunigung gemessen wird sowie der Grundsatz, daß die Beschleunigungsfunktion einen Extremwert hat, wenn die Geschwindigkeitsfunktion einen Nulldurchgang aufweist.

In vorteilhafter Weise sind gemäß Anspruch 13 nicht alle Bauelemente zentral angeordnet, sondern teilweise dezentral. So können beispielsweise Teilfunktionen direkt am Signalentstehungsort bei den Sensoren wahrgenommen und die daraus berechneten Steuersignale sofort wieder an die entsprechenden Ventile abgegeben werden. Man erspart damit unnötig lange Datenwege und Verarbeitungszeiten.

Als weitere Vereinfachung bietet sich dann ein Ringbus zwischen allen Elementen an; dies ist in Anspruch 14 erläutert. Ein solcher Ringbus erspart weitere Verbindungen und gewährleistet dennoch, daß alle Elemente im Multiplex-Betrieb direkt miteinander kommunizieren können. Anspruch 15 beschreibt den inneren Aufbau des Zustandsbeobachters und wird im Zusammenhang mit Fig. 2 näher erläutert.

Mögliche Ausführungsformen sind schematisch in den beiliegenden Zeichnungen dargestellt.

Es zeigen

Fig. 1 ein Verbindungsschema zwischen verschiedenen Elementen eines Regelsystems,

Fig. 2 den inneren Aufbau des Zustandsbeobachters,

Fig. 3 ein Beispiel mit Ringbus und teilweise dezentraler Datenverarbeitung,

Fig. 4a ein Fahrzeugrad mit Stoßdämpfer und Datenfluß sowie

Fig. 4b eine der dezentralen Datenverarbeitungseinheiten.

In Fig. 1 sind schematisch die Elemente des Regelsystems und die Verbindungen zwischen ihnen dargestellt. Der interaktive Zustandsbeobachter empfängt von den Teilsystemen die laterale, longitudinale und vertikale Fahrzeugbewegungen kontrollieren, Signale und gibt an diese auch wieder Signale ab. Die lateralen Bewegungen werden etwa von einer Servolenkung oder von einer Reifendrucküberwachung kontrolliert bzw. beeinflußt. Servobremse, Bremskraftverteilung und ABS-

bzw. ASR-Anlage kontrollieren und beeinflussen die longitudinale Bewegung. Kontrolle und Beeinflussung der vertikalen Bewegung erfolgt durch Dämpfungskraft- oder Niveauregelung. Alle Systeme, die die drei Bewegungsarten kontrollieren, tauschen auch untereinander und mit einer weiteren Einheit, die einen Wartungsservice und eine zusätzliche Funktionsüberwachung beinhaltet, Daten aus.

Fig. 2 zeigt die wesentlichen Teile des Zustandsbeobachters. Die Kommunikation mit den elektronischen Schaltkreisen anderer Teilsysteme wird von dem mit STOBS 2 bezeichneten externen Operationscontroller gesteuert. Dieser ist durch einen internen zentralen Controllerbus mit den anderen Teilen verbunden, der diese auch untereinander verbindet. Daten werden zunächst im Datenpuffer RAM 1 abgelegt. Weiterhin ist eine Datenbank mit Expertenwissen ROM 1 sowie — als ROM 2 bezeichnet — eine Datenbank mit Fahrzeugbasisdaten und eine Bibliothek mit einfachen Programmen vorhanden. Zur Kontrolle der internen Operationen dient der interne Operationscontroller STOBS 1. Eine Einheit, in der ein einfaches Vier-Rad-Fahrzeug Simulationsmodell gespeichert ist, ermittelt aus dem in RAM 1 sowie ROM 1 und 2 abgelegten Informationen jeweils die aktuellen Fahrzeugkonstanten. Letztere werden als aktive Parameterverbesserung für Bremse, Lenkung und Fahrwerk in RAM 2 abgelegt und diesen Systemen zur Ermittlung der Steuersignale zur Verfügung gestellt.

Im in Fig. 3 dargestellten Beispiel findet ein Teil der Datenverarbeitung dezentral statt. An einen Ringbus VDB sind die vier lokalen Controller LC 1–4 sowie die gestrichelt angedeutete Zentraleinheit angeschlossen. Die Anschlüsse erfolgen jeweils über eine Multiplex-Übergabe und -Empfangeinheit MUX T & R. In Fig. 4b, die einen der lokalen Controller LC 1–4 darstellt, ist dieser Anschluß auch zu erkennen. Die gestrichelte Zentraleinheit besteht aus dem Zustandsbeobachter einer ABS- und Schlupfkontrolleinheit ABS & TC, einer Einheit zur Bremskraftverteilung BFD, einer Bremsbetätigungseinheit SBA, die mit der Pedalkraft F_p betätigt wird, sowie einer Einheit zur Dämpfungskraftkontrolle SDC und einer Einheit zur Kontrolle von Fahrzeugroll- und -stampfbewegungen sowie dem Fahrzeugniveau SLC. Dem Zustandsbeobachter werden neben den Fahrzeugbasisdaten und den Drehgeschwindigkeiten der vier Räder v_{R1} bis v_{R4} auch die an der Multiplex-Übergabe und -Empfangeinheit MUX T & R eingehenden Daten und der Zustand der Bremsbetätigungseinheit SBA mitgeteilt. Dies ist durch auf den Zustandsbeobachter weisende Pfeile dargestellt. Auch der Fluß der übrigen Daten ist durch Pfeile symbolisiert. Der Zustand der Bremsbetätigungseinheit SBA wird auch der Einheit zur Bremskraftverteilung BFD mitgeteilt, die gleichzeitig vom Zustandsbeobachter angesteuert wird. Von der Einheit zur Bremskraftverteilung BFD verläuft der Informationsfluß weiter zur ABS- und Schlupfkontrolleinheit ABS & TC. Auch diese erhält zusätzlich Information vom Zustandsbeobachter. Von der ABS- und Schlupfkontrolleinheit ABS & TC werden nach außen Steuersignale zur Regelung des Bremsdrucks p_1 bis p_4 in den nicht dargestellten Radbremsen abgegeben.

Der Zustandsbeobachter gibt weitere Signale direkt an die Multiplex-Übergabe- und -Empfangeinheit MUX T & R ab und an die Einheit zur Dämpfungskraftkontrolle SDC sowie die Einheit zur Kontrolle des Fahrzeugniveaus SLC. Die beiden letztgenannten Ein-

heiten erhalten außerdem direkt Daten von der Multiplex-Übergabe- und -Empfangeinheit MUX T & R und geben direkt Daten an diese ab.

Fig. 4 zeigt im Teil 4a ein Fahrzeugrad 1 mit einem an der Achse 2 angebrachten Stoßdämpfer 3, dessen anderes Ende an einem nicht gezeigten Fahrzeugaufbau befestigt ist. Sensoren ermitteln einige Größen des Fahrzeugrads 1 bzw. des Stoßdämpfers 3. Im folgenden werden diese Sensorsignale immer als S mit der Größe, für die sie stehen, als Index geschrieben. Diese Sensorsignale sind als Pfeile vom Rad weg dargestellt. Es sind dies die Signale für die vertikale Aufbaubeschleunigung S_{22} , einen bestimmten Schwellwert S_{TP} der Stoßdämpferstellung, die vertikale Radbeschleunigung S_{21} und die Schwingungsfrequenz S_{ω} des Stoßdämpfers 3. Zugeführt werden der in Fig. 4a dargestellten Einheit die Signale für den Bremsdruck p_{BA} , den Druck im Stoßdämpfer p_{LA} , um das Fahrzeugniveau einzustellen, und die Härte des Stoßdämpfers p_{sv} . Alle von der Einheit in Fig. 4a wegführenden und zu ihr hinführenden Signale werden über einen lokalen Controller, wie er in Fig. 4b gezeigt ist, gesteuert.

Dieser lokale Controller hat, wie oben erläutert, einen Anschluß (MUX T & R) an den Ringbus VDB. Informationen erhält der lokale Controller einerseits über Signaleingangsstufen und andererseits über die Multiplex-Übergabe- und -Empfangeinheit MUX T & R. Diese Informationen werden entsprechend den Pfeilen den Funktionsblocks SP1 bis SP4, der lokalen Dämpfungskraftkontrolleinheit LDC und der lokalen Niveaunkontrolleinheit LLC zugeleitet und dort verarbeitet. Aufgaben und Funktionsweise der Blocks und Einheiten werden im folgenden kurz erläutert.

Der Block SP1 dient der Raddrehzahl- und -geschwindigkeitsermittlung und eliminiert durch Kreuzkorrelation Radlastschwankungen. Im Block SP2 werden die Beschleunigungssignale durch Bildung von Effektivwerten in kompakt übertragbare Größen umgewandelt. Außerdem wird bei Erkennen eines Schlaglocks ein 1-bit-Signal abgegeben. In der Stufe SP3 werden die momentanen Radaufstandskräfte ermittelt und der Block SP4 errechnet den kinematischen Reifenradius sowie die dynamische Variation der Radaufstandskraft. Die Einheiten LDC und LLC generieren Stellsignale zur lokalen Dämpfungkrasteinstellung und Niveauregelung.

Bezugszeichenliste

- RAM 1 Datenpuffer
- RAM 2 aktive Parameterverbesserung
- ROM 1 Datenbank mit Expertenwissen
- ROM 2 Datenbank mit Fahrzeugbasisdaten und einfachen Programmen
- STOBS 1 interner Operationscontroller
- STOBS 2 externer Operationscontroller
- VDB Ringbus
- LC 1–4 lokaler Controller
- MUX T&R Multiplex-Übergabe- und Empfangseinheit
- ABS & TC ABS- und Schlupfkontrolleinheit
- BFD Einheit zur Bremskraftverteilung
- SBA Bremsbetätigungseinheit
- F_p Pedalkraft
- SDC Einheit zur Dämpfungskraftkontrolle
- SLC Einheit zur Kontrolle von Fahrzeugroll- und -stampfbewegungen sowie dem Fahrzeugniveau
- $v_{R1} - v_{R4}$ Drehgeschwindigkeit der Räder
- 1 Fahrzeugrad

BEST AVAILABLE COPY

2 Achse
 3 Stoßdämpfer
 \dot{Z}_1 vertikale Radbeschleunigung
 \dot{Z}_2 vertikale Aufbaubeschleunigung
 TP Schwellwert
 ω Schwingungsfrequenz
 P_{BA} Bremsdruck
 P_{LA} Druck im Stoßdämpfer
 P_{SV} Härte des Stoßdämpfers
 SP1—SP4 Funktionsblock
 LDC lokale Dämpfungskraftkontrollleinheit
 LLC lokale Niveaukontrollleinheit

Patentansprüche

1. Regelsystem für Kraftfahrzeuge, bestehend aus Sensoren, die Zustände, Geschwindigkeiten und/oder Beschleunigungen von Fahrzeugteilen erfassen und Signale an elektronische Schaltkreise abgeben, aus den elektronischen Schaltkreisen, die Sensorsignale empfangen, verarbeiten und Steuersignale abgeben, wobei durch die Steuersignale ein Blockieren beim Bremsen verhindert wird oder Stoßdämpfer und Federn in ihrer Härte verändert werden oder die Aufbaustellung, eine Servolenkung oder der Schräglaufwinkel eines bestimmten Rades geregelt wird, und aus einem Zustandsbeobachter, der Signale von den elektronischen Schaltkreisen erhält, verarbeitet und der Signale an die elektronischen Schaltkreise abgibt.
2. Regelsystem nach Anspruch 1, bei dem der Zustandsbeobachter in zeitlichen Abständen Signale abgibt, die bewirken, daß das Fahrzeug in einen definierten Zustand versetzt wird, und es somit ermöglicht, aus den in diesem Zustand erfaßten Sensorsignalen und deren Änderungen Fahrzeugkonstanten rechnerisch zu ermitteln.
3. Regelsystem nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die aktualisierten Fahrzeugkonstanten in einem Speicher (RAM 2) abgelegt werden, auf den die elektronischen Schaltkreise zum Erzeugen von Steuersignalen zurückgreifen.
4. Regelsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Überprüfung der Fahrzeugkonstanten in wesentlich längeren Zeitabständen erfolgt als den Zeittakten der elektronischen Schaltkreise.
5. Regelsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Zustandsbeobachter die Teilsysteme abhängig von den aktualisierten Fahrzeugkonstanten koordiniert, z. B. Dämpferhärte, -symmetrie und Nickausgleich beim Bremsen, Wankausgleich bei Kurvenfahrt.
6. Regelsystem nach Anspruch 1, das weitere elektronische Schaltkreise zur Kontrolle und/oder Regelung von Fahrzeugfunktionen aufweist.
7. Regelsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit Stoßdämpfern, deren Beschleunigungen in vorgegebenen Stellungen mit Hilfe von je mindestens einem Sensor feststellbar sind, wobei dieses aus den Abständen der Zeitpunkte, bei denen die vertikale Radbeschleunigung gleich Null ist, die Anregungsfrequenz durch die Fahrbahn ermittelt.
8. Regelsystem nach Anspruch 7, wobei ein 1-bit-Signal an den Zustandsbeobachter abgegeben wird, wenn für länger als die halbe Periodendauer der zuletzt ermittelten Anregungsfrequenz eine be-

stimmte extreme Stoßdämpferstellung sensiert wurde.

9. Regelsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit mindestens einem Stoßdämpfer, wobei mehrere verschiedene Stoßdämpferpositionen digital sensierbar sind, das aus der Häufigkeitsverteilung der Stoßdämpferstellungen in einem Zeitintervall die mittlere Höhe des Fahrzeugaufbaues über dem Boden ermittelt.

10. Regelsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit mindestens einem Stoßdämpfer, bei dem die Beschleunigung des Stoßdämpferkolbens gegenüber dem zugehörigen Stoßdämpferzylinder in einer bestimmten Stellung sensiert wird, dessen elektronische Schaltkreise die Beschleunigungsdifferenz von je zwei Messungen zweimal zeitlich integrieren, aus den Randbedingungen die Integrationskonstanten bestimmen und dadurch die Stoßdämpferstellung als Zeitfunktion berechnen.

11. Regelsystem nach Anspruch 10, bei dem die elektronischen Schaltkreise die Zeitfunktion der Stoßdämpferstellung integrieren und zeitlich mitteln, um den stationären Wert der Einfederung des Stoßdämpfers zu ermitteln.

12. Regelsystem nach Anspruch 10 oder 11, bei dem die jeweils maximale Stoßdämpferstellung ermittelt und zur Berechnung einer gleitenden Mittelwertbildung von den elektronischen Schaltkreisen verwendet wird.

13. Regelsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Einzelelemente nicht zentral angeordnet sind, sondern teilweise direkt bei den ihnen zugeordneten Sensoren angeordnet und durch Datenleitungen verbunden sind.

14. Regelsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem alle Einzelelemente über einen Ringbus (VDB) im Multiplex-Betrieb miteinander bzw. mit dem Zustandsbeobachter kommunizieren.

15. Regelsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dessen Zustandsbeobachter folgende Elemente aufweist:

- einen inneren zentralen Controllerbus,
- einen internen und einen externen Operationscontroller,
- mindestens ein RAM als Datenpuffer und zum Ablegen der aktuellen Fahrzeugkonstanten,
- mindestens ein ROM für Fahrzeugbasisdaten, einfache Programme sowie eine Datenbank mit Expertenwissen und
- eine Einheit, die die Berechnung von Konstanten mit Hilfe eines einfachen Vier-Rad-Fahrzeug-Simulations-Modells ermöglicht.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

BEST AVAILABLE COPY

— Leerseite —

BEST AVAILABLE COPY

Fig. 1

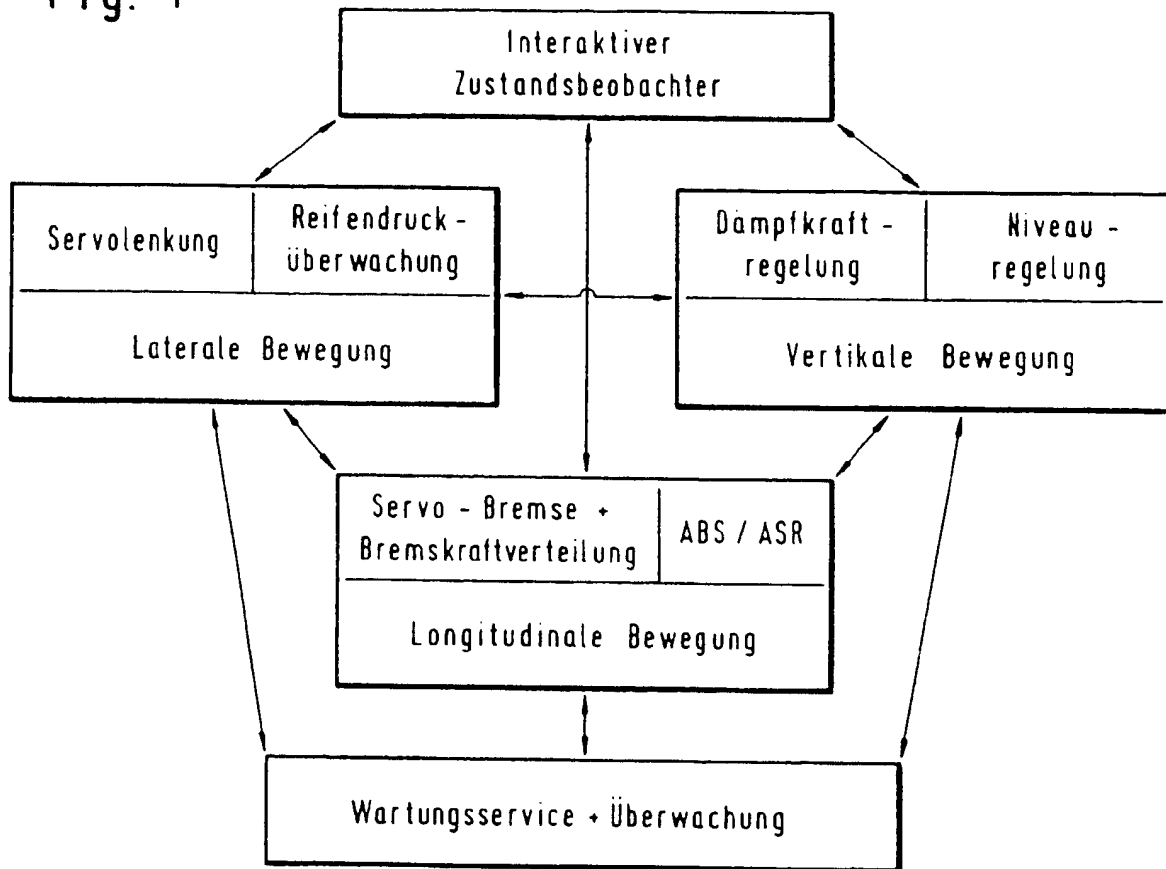


Fig. 2

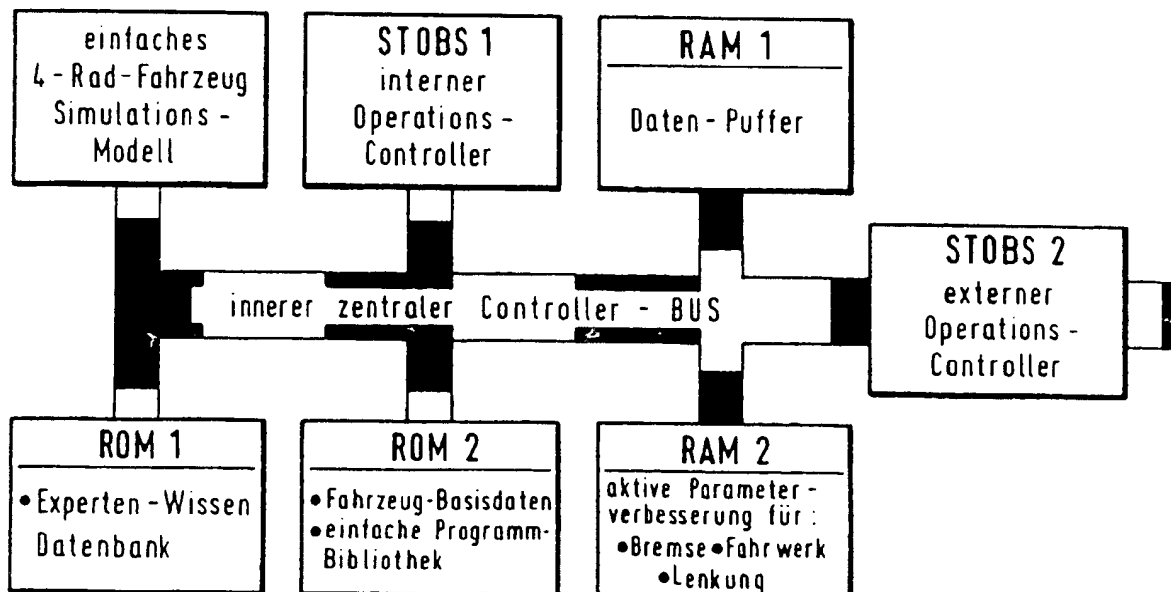


Fig. 3

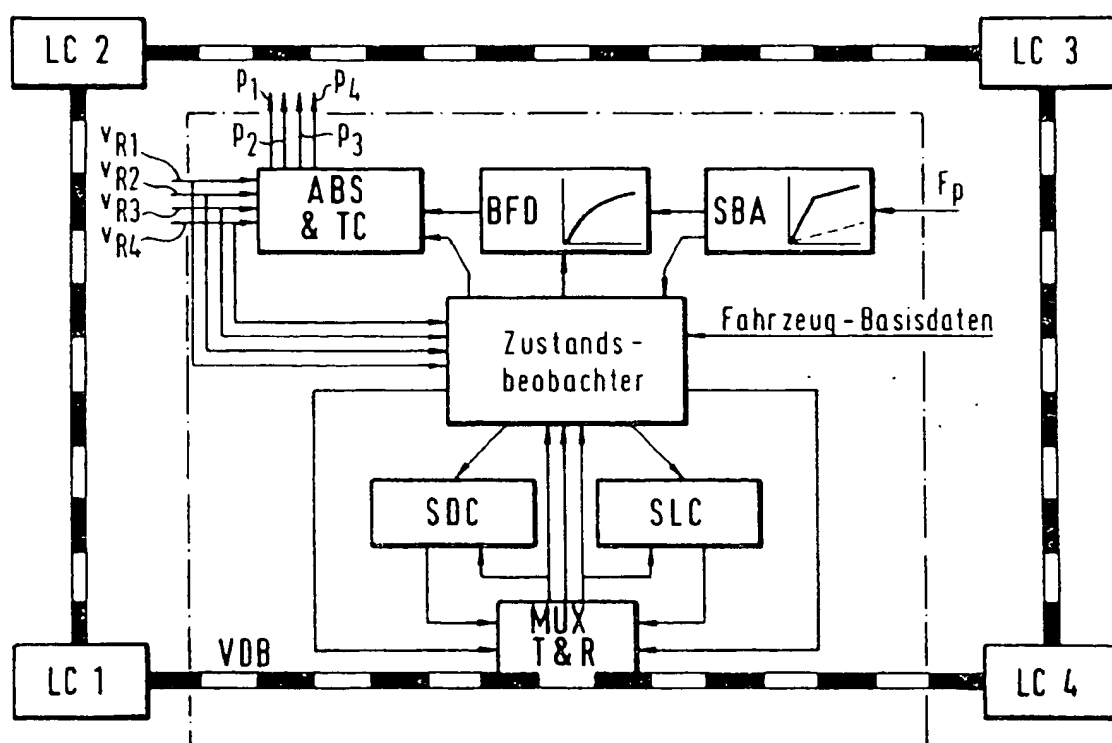


Fig. 4a

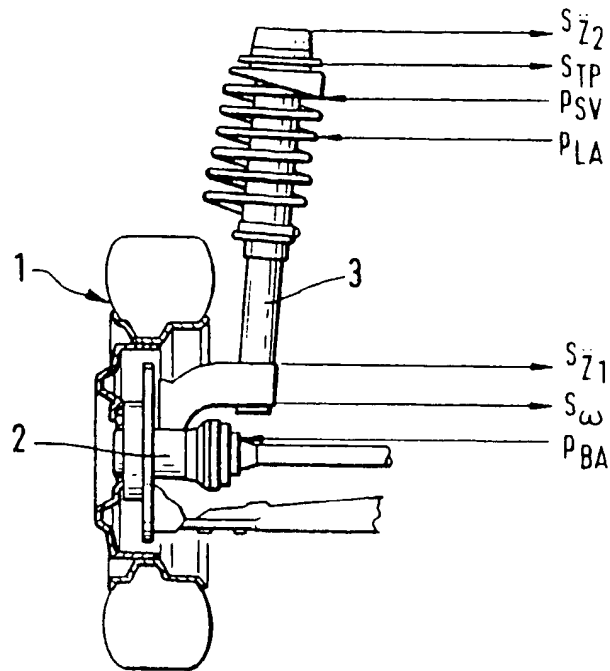
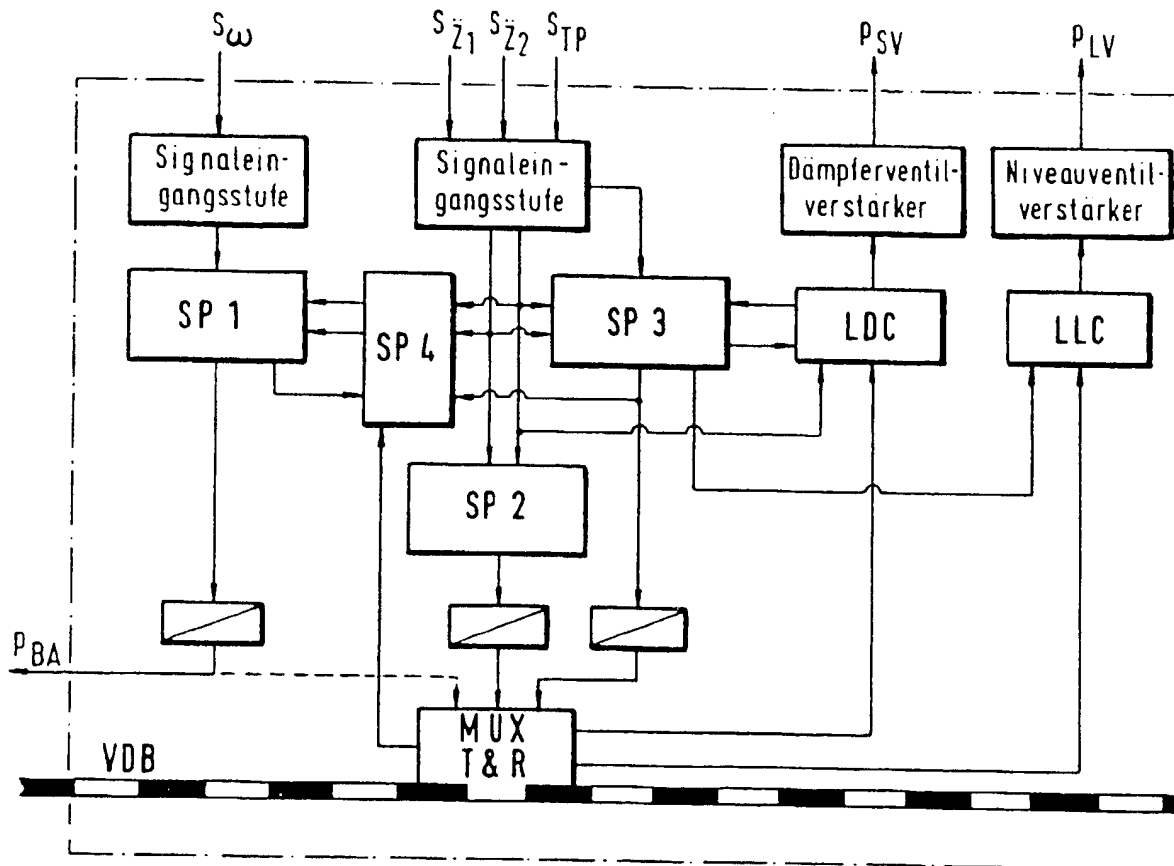


Fig. 4b



Theory and Experiments of Tire Blow-out Effects and Hazard Reduction Control for Automated Vehicle Lateral Control System

S. Patwardhan, M. Tomizuka
Department of Mechanical Engineering
University of California at Berkeley

Wei-Bin Zhang, Peter Devlin
Partners for Advanced Transit and Highways (PATH)
University of California at Berkeley

Abstract

This paper concentrates on the scenario of tire blow out and it's effects on lateral control of automobiles in IVHS environment. A computer model for the tire burst phenomenon was developed to simulate the behavior of a car with a tire blow out. Based on this modeling, a control algorithm to compensate for the tire blow out was designed. Finally the tire burst experiments were conducted on a car to validate the tire burst model.

1. Introduction

The goal of Intelligent Vehicle Highway Systems (IVHS) is to improve the efficiency, throughput of the highways and to achieve high safety levels [1]. In IVHS, an automated vehicle lateral control system will replace the driver. In order to achieve an acceptable reliability / safety level, the system must detect hazardous failures and properly control the vehicle to either eliminate its consequences or reduce the impact. This paper concentrates on one specific failure mode - tire blow out.

In the sections 2, a tire burst model will be discussed briefly. This model will describe the behavior of a car when one or more of its tires burst. Section 3 contains the controller strategies for handling the tire burst effectively. This will be followed by experimental arrangement and results in section 4 and conclusions in section 5. The discussion in this paper will be kept short because of the limited space. A more detailed version of this paper will be presented shortly at a different place.

2. Tire Burst Modeling

A tire burst that severely affects the vehicle behavior may be caused by sudden rupturing of the tire walls, because of nails or any such items that the tire may encounter. This could also happen in case of severe maneuvers when the bead detachment occurs because of the severe lateral forces.

As the pressure in the tire decreases, the tire flattens out under the vehicle load. Several of the tire burst effects are consequences of the geometry changes that happen because of tire flattening out. Other effects of the burst are due to changes in the tire, operating conditions of the vehicle and tire road characteristics. All of these effects start affecting the car dynamics from the instance of tire wall rupture and progressively increase in intensity until all the air in the tire has escaped. Following is a list of factors that one has to address while modelling tire burst.

1. Time required for deflation: The time required for complete deflation of the tire can be estimated by assuming adiabatic expansion of tire air. If one asserts that a hole of about an inch diameter is a typical opening in case of a burst, the time of deflation can be calculated to be about 0.8 sec.
2. Tire radius change: As a result of pressure drop, the tire stiffness in vertical direction decreases. In turn, the tire effective radius decreases

under the vehicle load. Because of this radius change, the slip at the contact point C (Fig. 1) changes.

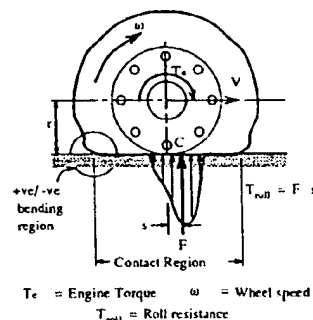


Figure 1: Rotation of busted tire.

3. Suspension force rearrangement: The static components of forces in each of the four suspensions changes under the effect of tire burst. The

reason is, after the tire burst, suspensions at the tire that has blown and the one at diagonally opposite point get stretched. Remaining two suspensions get compressed (see Fig. 2).

4. Rotation because of tire burst: When a tire burst occurs, the car

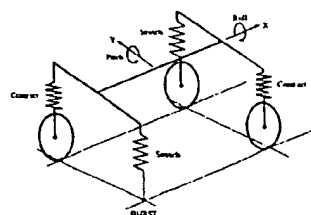


Figure 2: Suspension force rearrangement

rotates about the X and Y axis (roll and pitch rotation). This rotation is because of the changes in tire radii of the four wheels and the suspension length rearrangement (see Fig. 2).

5. Increase in roll resistance: When a busted tire rotates, there is positive and negative bending of tire material as it passes to and departs from the contact region (see Fig.1). This leads to dissipation of energy. The energy is supplied by the increase in the roll resistance that the tire offers for the rotation.

6. Increased moment about king pin: The steering wheels (front wheels) of a car are pivoted about what is called king pin. When tire burst occurs, the king pin axis no longer passes through the point where tire forces are generated. This creates a moment arm for the tire forces about the king pin and steering wheels tend to get steered because of these moments.

7. Reduction in cornering forces: As the pressure goes on decreasing, the tire tends to generate less cornering force[3]. Effectively, the lateral tire characteristics get scaled down after tire burst.

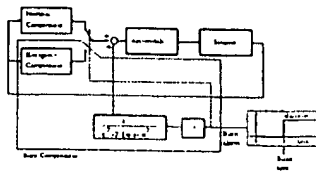


Figure 3: Burst controller structure with bias addition

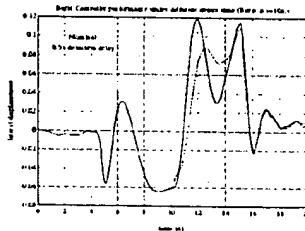


Figure 4: Burst Controller Performance

3. Burst Controller Design

The primary aim for designing a controller for the tire blow out is to ensure that the vehicle does not deviate past the boundaries of the lane in which it travels. Considerations like passenger comfort become secondary factors. To keep the car running until it can be properly stopped or safely taken out of the main stream of the traffic becomes vitally important from the hazard reduction point of view. A controller strategy in which a burst controller takes over the nominal controller after the tire burst, is found to be suitable for reducing the lateral displacement to an acceptable level.

1. FSLQ Controller: For normal lateral control, Peng and Tomizuka utilizes the frequency shaped linear quadratic (FSLQ) optimal control theory [2]. One can redesign a FSLQ controller that emphasizes the lane tracking error in its performance index. A controller redesigned this way is represented by "Emergency Controller" block of Fig. 3.

2. Both tire burst: If one can successfully counteract the force imbalance created by the tire burst; for example by intentionally bursting the symmetrical opposite tire, one can possibly reduce the lateral displacement. Simulation study indicate that this does not yield good lane tracking performance.

3. Better actuator: A key design parameter which will affect the performance of the burst controller is the bandwidth of the steering actuator. When a set of quick acting actuators is used, one can achieve better lane tracking accuracy.

4. Bias addition to steering command: When a tire burst is detected, it is possible that the controller can issue a steering command to steer the car in the direction opposite to the one in which car tends to turn because of the tire burst. Structure of the controller required for doing this is shown in Fig. 3.

5. Torque reduction: While steering under tire burst condition, one needs large steering force. In order to achieve this, one can reduce the longitudinal force that the tire generates by reducing the engine torque, and in turn increase the lateral force generating capability.

Several of the strategies discussed above lead to performance improvements of the burst controller. A combined strategy can be devised in order to get the best possible results. In particular, a FSLQ controller with bias addition to the steering command and reduced torque at the same time would produce close loop simulations as shown in Fig. 4. The simulations indicate performance improvement over the nominal controller, which would produce lateral displacements exceeding one meter under tire burst condition. These simulations show the performance of the controller when the car is going on a curve of 76m radius, and the outer front tire bursts midway through the curve.

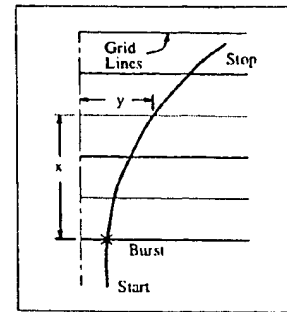


Figure 5: Experiment site

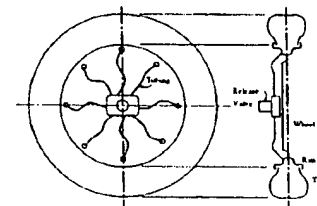


Figure 6: Tire Burst, Experimental Arrangement

4. Experiments

4.1. Experimental setup

Experiments were designed to verify the tire burst model. These experiments were conducted on an AMC-Concord sedan. The plan for the experiment was to run the car with fixed steering angle and to burst one of the tires at a preselected speed. The car was equipped with a water jet at the front bumper that would leave a trail on the pavement of the test site so that the vehicle trajectory can be recorded. After each run of the experiment, the water trail was measured from the reference marked on the test site. These measurements then were recorded and compared with the simulation outputs (see Fig. 5).

One of the biggest hurdle in doing this was how to rupture the tire or to create an effect close enough to that. This was achieved by installing a valve on the wheel which was operated by a remote controlled device powered by a small battery. Important consideration of this proposal is to have a valve of about an inch diameter opening in order to ensure that the air in the tire is released within a short time span, characteristic of a typical tire blow out. In other words, the area of the opening of the valve should be such that it is slightly greater than a typical rupture area in case of a burst. As the opening area of a valve increases, the force required to keep it shut will increase. To reduce the valve actuator requirements, it was proposed to have a release valve only, which could be opened, but can not be shut automatically (see Fig. 6). This approach would create a situation close to the tire burst, without actually rupturing the tire. In turn, one tire can be used more than once for the experiment. As shown in the Fig. 6, eight holes were drilled in the rim of the wheel, that opened to the air in the tire. The area of each drilled hole was such that the sum total of the area of these eight holes was slightly more than the area of an one inch diameter hole. Flexible tubing connected these openings to the release valve at the center of the wheel. The valve was designed as a two stage release valve with first stage being a solenoid pneumatic valve that was bought off the shelf. The second stage was a pneumatic cylinder that operated on the air from the tire itself. This cylinder in turn operated the latch of the valve flap. The first stage solenoid valve was powered by a small battery on the wheel, and triggered by a radio receiver that would receive trigger signals from a radio transmitter operated by the driver. Another pair of radio transmitter-receiver was also used in the experiment to transmit the

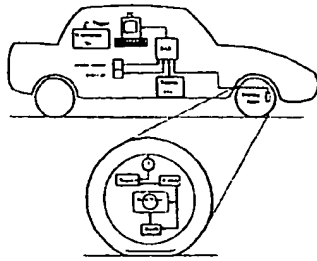


Figure 7: Tire Burst, Experimental Arrangement

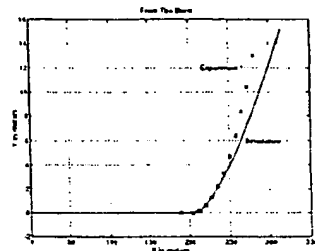


Figure 8: Tire Burst, Experimental Results

tire pressure measurement back to the car for recording. The final configuration for the experiment is shown in Fig. 7.

4.2. Experimental results

Results of the experiments come in the form x-y coordinates of points at which the car trail cuts the grid on the pavement. This data set needs to be compensated for the initial inclination of the car with respect to the reference on the pavement so that X axis of the graph coincides with the initial direction of car travel before burst. On this graph, the simulation outputs can be superimposed to compare with the experiments. Fig. 8 shows such plot for the front wheel burst experiments. Figure 9 shows the plots for rear wheel burst experiments. The experimental results can be seen to be close enough to the simulations to conclude the validity of the model.

5. Conclusions

The problem of tire burst and its effects on the car dynamics was addressed. The problem was approached by first modeling the tire burst in the form of nonlinear differential equations. A controller structure with a emergency controller, a nominal controller and a feedforward term was presented. The reconfiguration of the controller being achieved by a burst alarm. Finally the controller model was verified by experiments performed on a car. Closed loop experiments will be performed in the near future to verify the performance of the

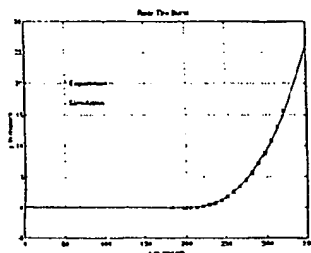


Figure 9: Tire Burst, Experimental Results

burst controller.

Acknowledgment

This work is performed as part of the *Partners for Advanced Transit and Highway (PATH)* program, prepared under the sponsorship of the State of California; Business, Transportation and Housing Agency; Department of Transportation (Caltrans).

References

- [1] P. Varaiya, S. Shladover, "Sketch of an IVHS Architecture", Proc. of Vehicle Navigation and Information Systems Conference, Dearborn, MI, p.909-922,1991
- [2] Peng, Huei, "Vehicle Lateral Control for Highway Automation", Ph.D. dissertation, UC Berkeley, 1992
- [3] Rudolf Limpert, "Motor Vehicle Accident Reconstruction And Cause Analysis", The Michie Co., Charlottesville Virginia 1989

THIS PAGE BLANK (USPTO)